

明 細 書

立体形状計測装置、加工装置、および半導体デバイス製造方法

5 技術分野

本発明は、立体形状の計測技術に関し、特に半導体などの試料の立体形状の多点高速計測装置、およびこれを用いた加工装置、半導体デバイス製造方法に適用して有効な技術に関する。

10 背景技術

本発明者が検討したところによれば、近年、半導体の製造プロセスにおいては、半導体のパターンの幅をSEM (Scanning Electron Microscope) で計測してプロセス状態の管理をしたり、さらに、プロセスの制御パラメータにフィードバックしてプロセスを高精度制御したりすることが行われるようになってきている。このような制御は、APC (Advanced Process Control) と呼ばれている。半導体のパターンサイズが100nmオーダー以下になって加工マージンが小さくなってくると、パターンの平面形状（真上から見た形状）だけではなく、立体形状も含めて計測して、高精度にプロセスを制御する必要性が高まってくる。

20 これに対して、特許文献1（特開2000-173984号公報）では、エッチング装置と試料表面評価系を組み合わせることでエッチング条件を制御する技術が開示されている。また、試料の立体形状を計測する装置としては、散乱光の角度分布あるいは波長分布を計測することによって形状を推定するScatterometryと呼ばれる方法、レーザを絞り込んでスキャンすることで検出光の明暗の情報から高さ情報を得るレーザ顕微鏡、ピンホールを介して照明・検出を行うことで検出光の明暗の情報から高さ情報を得る共焦点顕微鏡、検出光と参照光を干渉させた顕微鏡像を検出し、この明暗情報から高さ情報を得る干渉顕微鏡、がある。

他にも、AFM (Atomic Force Microscope)、すな

- わち原子間力顕微鏡という、微細な探針で表面を微弱な力でなぞる方法もある。また、電子線の照射方向を変化させた複数のSEM像から深さ情報を得るステレオSEM、FIB (Focused Ion Beam) で断面を掘り込んでおいて、斜めからSEM観察するFIB-SEM、電子線干渉パターンから試料の
- 5 立体形状を再構成する電子線ホログラフィーといった方法がある。

発明の開示

- しかしながら、前記のようないずれの方法を用いるにしても、高精度なプロセス制御のためには、ウェーハ内の多点の立体形状を計測して、そのウェーハ内分布を知る必要性が高まっているが、このためには、計測時間がかかってしまい、
- 10 計測頻度を上げられないという問題がある。また、加工装置と密に結合して計測を行うニーズも高まっているが、このためにはコンパクトに加工装置と立体形状計測装置をまとめる必要がある。従って、上記説明したように、従来技術では測定スループット向上の課題がある。
- 15 そこで、本発明の目的は、上記課題を解決すべく、複数の計測ヘッドを用意して、より高速な立体形状の計測装置を提供することである。さらに、上記立体形状計測装置の必要設置場所を小さくし、加工装置と密に結合できる装置を提供することである。さらに、設置場所の振動、変形の影響を受けないように試料と計測ヘッドの間の相対位置を検出し、補正する機能を提供することである。
- 20 また、本発明の別の目的は、配線パターンのエッジのようなパターンに対して、パターンエッジの断面図と、パターンエッジの蛇行を計測するための短時間検出モードの計測機能を付与することである。

また、本発明の別の目的は、計測した立体形状をウェーハマップと関連付けて表示して、加工プロセスの状態を分かり易く表示する機能を提供することである。

- 25 また、本発明の別の目的は、計測した立体形状の形状パラメータとウェーハ内分布を半導体製造工程の加工プロセス条件の設定に反映させて、高精度なデバイスの安定な製造を実現することである。

本発明では、上記目的を達成すべく、複数の計測ヘッドを用意して、これらによって同時に試料上の複数の点を計測するものである。これにより、高速な立体

形状計測を実現することができる。さらに、試料を搭載するステージの動作と計測ヘッドの動作を協調させるものである。これにより、さらに多くの点の高速計測が可能となる。また、試料を搭載するステージの動作と計測ヘッドの動作を協調させて動作するように設計することで、必要設置場所が小さく、加工装置と密に結合できる、あるいは、加工装置上に直接取り付けられる装置を提供することができる。さらに、設置場所の振動、変形の影響を受けないように試料と計測ヘッドの間の相対位置を検出して、立体形状計測結果を補正するものである。これにより、設置場所の環境を選ばない立体形状計測装置を提供することができる。

- 5 また、配線パターンのエッジのようなパターンに対して、配線パターンを横切る少数の線に沿った立体形状と配線エッジに沿った少数の線上の立体形状を計測するものである。これにより、パターンエッジの断面図と、パターンエッジの蛇行を計測するための短時間検出モードを実現することができる。

- 10 また、計測した立体形状をウェーハマップと関連付けて表示したり、計測した立体形状から抽出した形状パラメータをウェーハマップ上に表示するものである。これにより、計測結果を定量化して加工プロセスの状態を分かり易く表示することができる。

- 15 また、計測された立体形状の試料上分布を見やすく提示することで、半導体試料のパターンを計測した立体形状の形状パラメータとウェーハ内分布を前後の加工プロセス条件の設定にフィードバック、フィードフォワードするものである。これにより、高精度なデバイスの安定な製造を実現することができる。

- 20 以上説明したように、本発明によれば、立体形状を計測するための複数の計測ヘッドを用意して、これらによって同時に試料上の複数の点を計測することができるので、高速な立体形状計測を実現することが可能となる。さらに、試料を搭載するステージの動作と計測ヘッドの動作を協調させることができるので、さらに多くの点の高速計測が可能となる。また、試料を搭載するステージの動作と計測ヘッドの動作を協調させて動作するように設計することで、必要設置場所が小さく、加工装置と密に結合できる、あるいは、加工装置上に直接取り付けられる装置を提供することが可能となる。さらに、設置場所の振動、変形の影響を受けないように試料と計測ヘッドの間の相対位置を検出して、立体形状計測結果を補
- 25

正することができるので、設置場所の環境を選ばない立体形状計測装置を提供することが可能となる。

また、本発明によれば、配線パターンのエッジのようなパターンに対して、配線パターンを横切る少数の線上の立体形状と配線エッジに沿った少数の線上の
5 立体形状を計測することができるので、パターンエッジの断面図と、パターンエッジの蛇行を計測するための短時間検出モードの実現が可能となる。

また、本発明によれば、計測した立体形状をウェーハマップと関連付けて表示したり、計測した立体形状から抽出した形状パラメータをウェーハマップ上に表示することができるので、計測結果を定量化して加工プロセスの状態を分かり易
10 く表示することが可能となる。

また、本発明によれば、高スループットで計測された立体形状の試料上分布を見やすく提示することで、半導体試料のパターンを計測した立体形状の形状パラメータとウェーハ内分布を前後の加工プロセス条件の設定にフィードバック、フィードフォワードすることができるので、高精度なデバイスの安定な製造の実現
15 が可能となる。

図面の簡単な説明

図1は、本発明の一実施の形態において、複数の計測ヘッドにより多点立体形状を計測する立体形状計測装置の要部の構成を示す図である。

20 図2は、本発明の一実施の形態において、複数の計測ヘッドにより多点立体形状を計測する別の立体形状計測装置の要部の構成を示す図である。

図3は、本発明の一実施の形態において、 $R-\theta$ ステージによるコンパクトで高速な立体形状計測装置の要部の構成を示す図である。

図4は、本発明の一実施の形態において、散乱光分布により立体形状を計測する原理を表し、(a)はライブラリマッチング法、(b)は回帰計算法を示す図である。
25

図5は、本発明の一実施の形態において、試料と計測ヘッドの相対位置を計測して補正を行う例を表し、(a)は相対距離センサを用いる場合、(b)は光学的に検出する場合を示す図である。

図6は、本発明の一実施の形態において、プロファイル測定結果を前後の工程にフィードバック、フィードフォワードする概念を示す図である。

図7は、本発明の一実施の形態において、配線パターンの立体形状の計測点を示す図である。

- 5 図8は、本発明の一実施の形態において、立体形状計測装置をエッチャーに搭載した加工装置を示す図である。

図9は、本発明の一実施の形態において、立体形状計測装置を塗布現像機・ベーク炉・露光機に組み合わせた加工装置を示す図である。

- 10 図10は、本発明の一実施の形態において、配線部の立体形状のエッジ部の形状を詳細に計測するためのスキャン方法を示す図である。

図11は、本発明の一実施の形態において、配線部の立体形状のエッジ部の形状を任意のレベルで解析する場合の画面表示を表し、(a)は下地の高さに近い高さで取った場合、(b)は下地とパターン上部の真中50%の高さで取った場合を示す図である。

- 15 図12は、本発明の一実施の形態において、立体形状のウェーハ内分布の画面表示を示す図である。

図13は、本発明の一実施の形態において、立体形状のウェーハ内分布の別の画面表示を示す図である。

- 20 図14は、本発明の一実施の形態において、複数の寸法パラメータのウェーハ上分布の画面表示を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

- 25 以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、実施の形態を説明するための全図において、同一機能を有する部材には同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。

まず、図1により、本発明の一実施の形態の立体形状計測装置の一例の要部の構成を説明する。図1は、複数の計測ヘッドにより多点立体形状を計測する立体形状計測装置の要部の構成を示す図である。

本実施の形態の立体形状計測装置は、試料の立体形状を計測するための計測ヘ

ヘッド100が複数並んで取り付けられている。これらの計測ヘッド100の間隔は、ヘッド間隔調整機構101で計測対象の試料300上の測定点500の間隔に応じて変更可能である。半導体ウェーハなどの試料300は、ローダ/ステージ200上に積載されて移動する。このような機構で計測を行いながら試料300を動かしていくと、同時に試料300上の複数の点の計測を行うことができる。

図1の例では、立体形状の計測ヘッド100を5個用意して、ローダ/ステージ200の5箇所の位置において計測を行うことによって、 $5 \times 5 = 25$ 点の計測が可能である。ただし、図1の例では、4隅の点は試料300からはみ出ているために実際に計測可能な点は21点である。なお、計測ヘッド100の数とローダ/ステージ200を動かしての測定回数は図1ではそれぞれ5回になっているが、この数は自由に選んでも本発明の範囲を逸脱しないことは言うまでもない。

また、試料300を移動させる代わりに、計測ヘッド100を図1の左右方向に移動させて計測を行ってもよい。要するに、試料300と計測ヘッド100の相対位置を変化させながら計測を行えばよい。これによって、短時間で試料300上の複数の点の立体形状データを得ることができる。

また、後述するように他の装置と組み合わせて、たとえば加工装置と同時に設置して計測を行う場合に、ローダ/ステージ200は他の装置のための試料をロード・アンロードするための試料300の経路上に計測ヘッド100を配置して、ロード・アンロード時に同時に計測することで省略しても良い。こうすることによって、立体形状計測のために特別な設置領域を設けずとも、他の装置上での加工・計測の前あるいは後あるいは前後に立体形状を計測することができる。

次に、図2により、本発明の一実施の形態の別の立体形状計測装置の一例の要部の構成を説明する。図2は、複数の計測ヘッドにより多点立体形状を計測する別の立体形状計測装置の要部の構成を示す図である。

図2に示す立体形状計測装置は、5個の計測ヘッド100が十字状に並べられて、これらの間隔・位置はヘッド間隔調整機構101によって調整可能である。これらの計測ヘッド100によってローダ/ステージ200に積載された試料300上の複数の測定点が同時に計測できる。これらの計測ヘッド100のヘッ

ド群と試料300との間の相対位置を移動させて、さらに測定点を増やすことも可能である。また、図2にとらわれず、計測ヘッド100の個数、配列を任意に選んでも、試料300上の複数の測定点を同時に計測し、試料300内分布を得るという目的を達成する意味では同じことである。

- 5 次に、図3により、本発明の一実施の形態のさらに別の立体形状計測装置の一例の要部の構成を説明する。図3は、 $R-\theta$ ステージによるコンパクトで高速な立体形状計測装置の要部の構成を示す図である。

- 図3に示す立体形状計測装置は、 $R-\theta$ ステージによるコンパクトで高速な立体形状計測の実現例を示し、試料300は回転可能なローダ/ステージ200に
10 よって回転位置を制御される。さらに、ローダ/ステージ200は移動機構によって水平方向へ移動させる並進ステージをも兼ねており、いわゆる $R-\theta$ ステージを構成している。あるいは、ローダ/ステージ200に並進ステージの機能を持たせる代わりに、計測ヘッド100が並進移動してもよい。あるいは、ローダ/ステージ200と計測ヘッド100の双方が動いて試料300と計測ヘッド
15 100の相対的な位置を変化させても良いことは言うまでもない。

- この $R-\theta$ の動きによって、試料300上の任意の点を計測ヘッド100の観測位置に持っていくことが可能となる。この構成により、非常にコンパクトな多点立体形状計測が可能となる。また、計測方式によっては、計測ヘッド100の方向を試料300上のパターンの方向に合わせる必要があるので、この場合には
20 さらに計測ヘッド100の回転機構を有する構成が望ましい。また、この図3の場合には、計測ヘッド100の個数は1個であるが、前記図1あるいは図2のように複数の計測ヘッドを整列させて、さらに計測速度を速くすることが可能である。

- 以上、図1から図3を用いて説明したように、半導体ウェーハなどの試料300
25 の立体形状を計測するための複数の計測ヘッド100、あるいは1つの計測ヘッド100と、試料300を移動可能に搭載するローダ/ステージ200などの機構との組み合わせによって、本実施の形態における立体形状計測装置を構成することができる。

本実施の形態における立体形状計測装置において、計測ヘッド100としては、

さまざまな方式のものが考えられる。散乱光の角度分布あるいは波長分布を計測することによって形状を推定する *Scatterometry* と呼ばれる方法、レーザを絞り込んでスキャンすることで検出光の明暗の情報から高さ情報を得るレーザ顕微鏡、ピンホールを介して照明・検出を行うことで検出光の明暗の情報から高さ情報を得る共焦点顕微鏡、焦点を変化させて検出した複数の画像を画像処理して画像の鮮鋭度を計算し、鮮鋭度が最も高くなる位置より高さ情報を得る方法、検出光と参照光を干渉させた顕微鏡像を検出し、この明暗情報から高さ情報を得る干渉顕微鏡、などがある。

他にも、AFM、すなわち原子間力顕微鏡という、微細な探針で表面を微弱な力 でなぞる方法もある。また、電子線、イオンビームなどの荷電粒子線の照射方向を変化させ、その2次電子、反射粒子などの検出による複数のSEM像から深さ情報を得るステレオSEM、FIBで断面を掘り込んでおいて、斜めからSEM観察するFIB-SEM、検出したホログラム像の電子線干渉パターンから試料の立体形状を再構成する電子線ホログラフィーといった方法、などがある。

次に、図4を用いて、計測ヘッドによる計測方法の一例として、散乱光分布により立体形状を計測する原理を説明する。図4は、散乱光分布により立体形状を計測する原理を表し、(a)はライブラリマッチング法、(b)は回帰計算法を示す図である。

試料300のパターンに対して光170を照射して、その散乱光強度を検出器171で計測する。このとき、光の入射角あるいは検出波長を変化させて、これに対する散乱光強度の変化を実測signature (シグネチャー) 172として記録する。この実測シグネチャー172を、周期的な立体構造のモデル173から光散乱理論を用いて計算機上で生成した理論的な生成シグネチャー174と比較して、両者が等しくなる形状モデルパラメータを同定して、これを試料300の形状を表すパラメータとして得る方法である。

このときに、あらかじめ色々な形状モデルパラメータに対して生成シグネチャー174を計算しておいて、シグネチャーの標本(ライブラリ)を生成しておき、この中から実測シグネチャー172と最も近くなるシグネチャーを生成する形状モデルを選択するライブラリマッチング法(a)と、繰り返し計算によって実

測シグネチャー 172 と生成シグネチャー 174 が最も近くなるように形状モデルパラメータを微調整していく回帰計算法 (b) がある。

Scatterometry を用いた方式の場合、光を垂直入射させて検出波長を変化させることによって実測シグネチャー 172 を得る構成では、計測ヘッド 100 の回転によって検出特性が変わらないが、これ以外の垂直入射ではない光を使う構成では、計測ヘッド 100 の回転によって検出特性が変わるので、前記図 3 に示す R- θ 型の構成の場合には計測ヘッド 100 もステージの θ 回転に合わせて回転させることが必要となる。

次に、図 5 を用いて、試料と計測ヘッドの相対位置を計測して補正を行う場合の一例を説明する。図 5 は、試料と計測ヘッドの相対位置を計測して補正を行う例を表し、(a) は相対距離センサを用いる場合、(b) は光学的に検出する場合を示す図である。

ほぼ全ての立体計測検出原理において、計測ヘッド 100 と試料 300 の間の位置の変動は形状計測誤差につながり問題となる。ところが、振動、熱変形などによって計測ヘッド 100 と試料 300 の間の相対位置が変動することが起こり得る。そこで、この補正のために、計測ヘッド 100 と試料 300 の間の相対位置を計測する実施例が考えられる。

図 5 (a) において、150 は試料 300 の表面との距離を計測する計測手段の相対距離センサである。図 5 (a) は、計測ヘッド 100 による試料 300 上の計測位置とは離れた試料 300 上の 2 点をセンサ 150 によって計測するが、センサ 150 を 2 個用意し、計測ヘッド 100 の計測位置を挟む 2 点を計測して、これらの結果の加重平均を求めることによって、計測ヘッド 100 の計測位置における計測ヘッド 100 と試料 300 の間の相対位置を求めることが可能である。

たとえば、センサ 150 を計測ヘッド 100 の中心を軸とする点対称の位置に設置する場合、これらの計測結果を等しい加重で平均すれば、計測ヘッド 100 の計測位置における計測ヘッド 100 と試料 300 の間の相対位置が求められる。この相対位置の検出方式としては、たとえば、レーザを照射して反射位置の変化を計測する三角測量方式、試料 300 との間の静電容量を計測する方式、交

流磁界によって試料300に渦電流を生じさせて、これによる電圧を計測する渦電流方式、空気を試料300とセンサ150の間に流して、この空気圧を計測するエアマイクロメータ方式、レーザを試料300上に収束して照射して、これを共焦点検出して光量が最大となる点から試料300の距離を計測する方式、などが考えられる。

また、試料300の高さだけではなく、水平方向の変位をも計測する方式としては、レーザスペックル干渉を利用する方法、試料300上のパターンを顕微鏡観察し、このパターンの像のシフトを画像処理で求める方法、試料300上にあらかじめ決められた格子パターンを形成しておいて、これをセンサ150側に設置した格子パターンを介して計測することで水平方向の位置を計測するリニアスケールに類似した方法、などが考えられる。

これらの手段によって、計測された計測ヘッド100と試料300の間の相対位置を用いて計測ヘッド100あるいは試料300のステージあるいはその両方の位置の制御を行って、常に同じ相対位置で計測ヘッド100による立体形状計測を行うようにすることが可能となる。あるいは、計測ヘッド100による試料300のスキャン中の試料300と計測ヘッド100の相対位置の変化を記録しておいて、スキャン完了後に形状データを補正するために、記録した相対位置の変化を利用してもよい。これによって、熱変形や振動などによって計測中に試料300と計測ヘッド100の相対位置が変動しても、正確な立体形状データを測定することが可能になる。

図5(a)では、計測ヘッド100による試料300上の計測位置とは離れた試料300上の2点をセンサ150によって計測していたが、別の例として、図5(b)を用いて、計測ヘッド100による試料300上の計測位置と同じ箇所

の相対位置を計測する例を説明する。

図5(b)のように、計測手段として光学系を用いた場合、光源151を出射した光は、レンズを介してスリット152を照明する。スリット152の像が投影レンズ154、反射ミラー155を介して試料300上に結像される。試料300で反射した光は、反射ミラー156、検出レンズ157を介して検出器153上に再度像を結ぶ。検出器153は、像の位置に応じた電圧を発生するPSD

(ポジションセンシティブデバイス)、あるいは分割フォトダイオード、あるいはリニアイメージセンサ、あるいは2次元イメージセンサなどからなり、これによって、スリット像の位置の変化を検出する。このスリット像の位置の変化を変換することで、試料300の高さを検出することが可能となる。あるいは、計測
5 ヘッド100と同軸で、上記で説明した方法によって試料300との相対位置を計測するように構成することも可能である。

次に、図6により、プロファイル測定結果を前後の工程にフィードバック、フィードフォワードする概念の一例を説明する。図6は、プロファイル測定結果を前後の工程にフィードバック、フィードフォワードする概念を示す図である。

10 半導体の製造工程においては、ウェーハにレジストを塗布し、露光・現像してレジストのパターンを形成するホトリソグラフィ工程、レジストをマスクとして膜材料に溝を切るエッチング工程、さらにシリコン酸化膜、ポリシリコン、アルミ・タングステン・銅といった金属などの膜を形成する成膜工程、さらに場合によってはこれを平坦にするための研磨工程といった工程を何度も経てデバイス
15 を形成していく。

デバイスのパターンサイズが縮小し、0.1マイクロメートル前後になると、微細パターンを安定して形成することが工程マージンの減少のために、困難になってくる。これを解決するために、形成途中のデバイスパターンの立体形状を計測して、前後の工程の条件に反映することで、微細パターンの形成を制御
20 することが重要になってくる。本実施の形態では、このための高速な多点立体形状計測手段を提供する。

たとえば、ホトリソグラフィ工程後のレジストパターンのプロファイルを高速に測定することで、ホトリソグラフィ工程の露光量・フォーカス・現像条件などにフィードバックする。さらに、レジストパターンの線幅の設計値に対する
25 大きさを打ち消すように、後の工程のエッチングの条件にフィードフォワードすることも可能である。たとえば、エッチングの時間、ウェットエッチングの場合はエッチング液の濃度、プラズマエッチングの場合はプラズマ強度・ガス濃度などの条件に対してフィードフォワードすることが考えられる。

また、エッチング後のプロファイル測定では、エッチング時間、エッチング液の

- 濃度、プラズマ強度・ガス濃度などに対してフィードバックをかけることが考えられる。また、成膜工程後のプロファイル測定では、膜の平坦度に応じて、前の工程の成膜条件にフィードバックしたり、後の工程の研磨圧・研磨速度・スラリー濃度といった研磨条件にフィードフォワードする。また、研磨工程後のプロファイル測定結果を、研磨工程の研磨条件にフィードバックすることも可能である。

このようにして、ホトリソグラフィ工程、エッチング工程、成膜工程、研磨工程などの各工程の前後で高速にウェーハ上の立体形状計測を行って、この結果を前後の工程にフィードバック、フィードフォワードすることで、微細デバイスの安定製造が可能となる。

- 次に、図 7 により、配線パターンの立体形状の計測点の一例を説明する。図 7 は、配線パターンの立体形状の計測点を示す図である。

- 配線パターンの立体形状の計測点は、単なる線幅 (CD: クリティカルディメンション) ではなく、レジストパターンの上部、中部、下部の幅 (それぞれ、トップ CD、ミドル CD、ボトム CD)、側壁の角度、線幅の蛇行 (LER: ラインエッジラフネス) を計測する。たとえば、ゲート配線工程では底部の幅がゲート電極に相当するので、ゲートの動作特性 (しきい値電圧・スイッチング速度など) に大きく影響を与える。線幅の蛇行も同様である。サイドウォールアングルは、半導体に不純物を注入したときの不純物濃度分布に影響を与え、従って、ゲートの動作特性に影響を与える。計測した立体形状から、こういった寸法パラメータを算出し、工程の制御に用いる。

次に、図 8 により、立体形状計測装置をエッチャーに搭載した加工装置の一例を説明する。図 8 は、立体形状計測装置をエッチャーに搭載した加工装置を示す図である。

- この加工装置は、ロボットアーム 421 の周りに、立体形状計測装置 400 と、エッチャー 410、ウェーハカセット 420 が搭載されている。ウェーハカセット 420 からロボットアーム 421 でウェーハを取り出し、エッチャー 410 にウェーハをロードしてエッチング処理を行う。この後、ウェーハをアンロードしてウェーハカセット 420 にウェーハを戻す前に、立体形状計測装置 400 で立体形状を計測する。

ロボットアーム 421 は、望ましくは 2 本のアームを具備し、処理完了ウェーハのエッチャー 410 からの取り出しと同時に次のウェーハの搭載を行えるようにすることによって、より処理スループットを向上することが可能である。また、立体形状計測装置 400 による立体形状計測はエッチング処理後すぐに計測
5 を行い、エッチング工程の条件にフィードバックを行うという説明を上記で行ったが、エッチング処理前に計測を行って、エッチング条件にフィードフォワードを行うことも可能である。

この図 8 で説明した加工装置の例によって、エッチングの前後、少なくとも一方でウェーハ上のパターンの立体形状計測を行って、エッチング工程の条件を高精度制御することが、全体の処理時間にほとんど影響を与えずに可能となる。また、コンパクトな立体形状計測装置 400 をエッチャー 410 とロボットアーム 421 を共有して搭載することで、設置面積もとらず、また処理後のデバイスが経時変化を受ける前に測定することが可能となる。
10

次に、図 9 により、立体形状計測装置を塗布現像機・ベーク炉・露光機に組み合わせた加工装置の一例を説明する。図 9 は、立体形状計測装置を塗布現像機・ベーク炉・露光機に組み合わせた加工装置を示す図である。
15

この加工装置は、ロボットアーム 421 の周りに、立体形状計測装置 400 と、塗布現像機 412、ベーク炉 413、露光機 411、ウェーハカセット 420 が搭載されている。ロボットアーム 421 はウェーハカセット 420 からウェーハを取り出し、塗布現像機 412 でウェーハにレジストを塗布し、ベーク炉 413 でレジストをプリベークし、露光機 411 で微細パターンを露光する。塗布現像機 412 でレジストパターンを現像し、立体形状計測装置（プロファイル計測ツール） 400 でレジストパターンの立体形状計測を行って、ウェーハカセット 420 にウェーハを戻す。
20

これによって、ホトリソグラフィ工程後のレジストパターンのプロファイルを高速に測定することで、ホトリソグラフィ工程の露光量・フォーカス・現像条件などにフィードバックし、ホトリソグラフィ工程の加工結果を高精度制御することが、全体の処理時間にほとんど影響を与えずに可能となる。また、コンパクトな立体形状計測装置 400 を塗布現像機 412、ベーク炉 413、露光機
25

4 1 1 とロボットアーム 4 2 1 を共有して搭載することで、設置面積もとらず、また現像処理後のレジストが経時変化を受ける前に測定することが可能となる。

次に、図 1 0 および図 1 1 を用いて、配線部の立体形状のエッジ部の形状を詳細に計測するためのスキャン方法の一例を説明する。図 1 0 は、配線部の立体形状のエッジ部の形状を詳細に計測するためのスキャン方法を示す図である。図 1 1 は、その形状を任意のレベルで解析する場合の画面表示を表し、(a) は下地の高さに近い高さで取った場合、(b) は下地とパターン上部の真中 5 0 % の高さで取った場合を示す図である。

前記図 7 を用いて説明したように、配線部の立体形状で重要な箇所は左右のエッジの間の断面上部・中部・下部における距離、すなわち幅 (CD)、エッジのサイドウォールアングル、エッジの蛇行 (ラインエッジラフネス) である。これらを詳細に、しかも短時間で計測するために、計測モードとして、図 1 0 に示すように、断面を横断する数本 (図 8 では 5 本) のスキャンである CD 計測用スキャンモードと、エッジに沿った数本のスキャンである LER (ラインエッジラフネス) 用スキャンモードとの 2 種類のスキャンを行う。

これによって、密度の濃い (本数の多い) ラスタースキャンによって計測エリア全体を均等に走査する従来の方法に比べて、短時間で、必要なエッジ部分の立体形状に関する情報を得ることが可能となる。スキャンするのは、電子線ビーム、レーザビーム、AFM の探針など、スキャンによって試料の形状情報を得ようとするものであれば何でもよい。短時間でスキャンができて、情報が迅速に得られる他に、試料に対するダメージも最小限に抑えることが可能となる。

このように得られた計測結果があれば、図 1 1 に示すように、任意の高さで断面をとった立体形状のエッジ部の形状を画面表示して、その形状パラメータである、平均線幅、線幅変動幅、変動周期などを表示することが可能となる。図 1 1 (a) の例は下地の高さに近い高さで取った断面図とその形状パラメータであり、図 1 1 (b) の例は下地とパターン上部の真中 5 0 % の高さで取った断面図とその形状パラメータである。また、図示していないが、等高線状に立体形状計測結果を示すことも可能である。これによって、得られた立体形状計測結果の特にエッジ部分の形状を詳細に解析して、前後の工程の処理条件に反映することが可能

となる。

次に、図12～図14を用いて、立体形状のウェーハ内分布の画面表示の一例を説明する。それぞれ、図12は立体形状のウェーハ内分布の画面表示を示す図であり、図13は別の画面表示を示す図であり、図14は複数の寸法パラメータのウェーハ上分布の画面表示を示す図である。

立体形状計測装置400を用いれば、ウェーハ上の複数箇所の立体形状を高速に計測することができ、これを、たとえば図12のように表示手段に表示することができる。左側が測定ダイの場所を示す図であり、右側に、これに対応した測定ダイ（図12の例ではA、B、C、D、E）を測定した立体形状データを表示する。右側に表示されるのは、高さを濃淡値に変換して2次元表面上に表示した図と、パターンの断面形状を示した図である。このように、ウェーハ上の場所とパターンの立体形状を対比して示すことにより、ウェーハ内の加工状態の分布を明らかにすることができ、より細かいプロセス条件の調整に反映することが可能となる。

別の例として、図13は、ウェーハマップ上に断面形状を重ねて表示することにより、より直感的にウェーハ内の加工状態の分布を知ることが可能となる。

さらに、別の例として、図14では、複数の寸法パラメータのウェーハ上分布を、濃淡値あるいは色に変換して表示している。複数の寸法パラメータとは、たとえば、トップCD値、サイドウォールアングル値、ラインエッジラフネス、さらに、上記パラメータをたとえばホトリソグラフィ装置のフォーカスに変換して推定した値である。これによって、ウェーハ上の場所とパターンの立体形状を対比して示すことにより、ウェーハ内の加工状態の分布を明らかにすることができ、より細かいプロセス条件の調整に反映することが可能となる。

25 産業上の利用可能性

以上のように、本発明にかかる立体形状の計測技術は、特に半導体などの試料の立体形状の多点高速計測装置、およびこれを用いた加工装置、半導体デバイス製造方法に適用することができる。

請 求 の 範 囲

1. 試料の立体形状を計測するための計測ヘッドを複数持ち、前記複数の計測ヘッドによって同時に前記試料上の複数の点の立体形状を計測することを特徴とする立体形状計測装置。

5 2. 請求項 1 記載の立体形状計測装置において、

前記試料を移動可能に搭載するステージを持ち、前記ステージによる前記試料の移動と前記複数の計測ヘッドの位置とを組み合わせることを特徴とする立体形状計測装置。

3. 試料の立体形状を計測するための計測ヘッドと、前記試料を回転可能に搭載するステージと、前記試料と前記計測ヘッドとの相対位置を水平方向に移動させる移動機構とを持ち、前記ステージと前記移動機構との動作を組み合わせることを特徴とする立体形状計測装置。

4. 請求項 3 記載の立体形状計測装置において、
15 前記計測ヘッドは回転機構を持ち、前記試料の回転に合わせて前記回転機構によって前記計測ヘッドの角度を調整することを特徴とする立体形状計測装置。

5. 請求項 1 記載の立体形状計測装置において、

前記計測ヘッドは、

(1) 前記試料に光を照射して、その散乱光の角度分布あるいは波長分布の少なくとも一方を計測することによって照射領域の立体形状を推定する方法、
20

(2) 前記試料に探針を接触させ、前記探針と前記試料とを相対的にスキャンさせながら立体形状を計測する方法、

(3) 前記試料に荷電粒子線を照射して、その 2 次電子あるいは反射粒子を検出することによって立体形状を計測する方法、

25 (4) 前記試料に荷電粒子線を照射し、この照射する角度を変化させて複数の画像を撮像し、これらの複数の画像間の位置関係から立体形状を計測する方法、

(5) 前記試料に荷電粒子線を照射し、そのホログラム像を検出して立体形状を計測する方法、

(6) 顕微鏡下で光学像の焦点位置の変化による光量あるいは鮮鋭度の変化を

用いることによって立体形状を計測する方法、

(7) 顕微鏡下で検出光と参照光を干渉させることによって立体形状を計測する方法、

(8) 顕微鏡下でレーザ光を前記試料に照射し、スキャンを行うことによって
5 立体形状を計測する方法、

のうちの少なくとも一つの方法を用いることを特徴とする立体形状計測装置。

6. 請求項1記載の立体形状計測装置において、

前記計測ヘッドと前記試料との相対位置関係を計測するための計測手段を持ち、前記計測手段による計測情報を用いて前記計測ヘッドと前記ステージのうちの
10 の少なくとも一方の位置を制御することを特徴とする立体形状計測装置。

7. 請求項1記載の立体形状計測装置において、

前記計測ヘッドと前記試料の相対位置関係を計測するための計測手段を持ち、前記計測手段による計測情報を用いて計測結果を補正することを特徴とする立体形状計測装置。

15 8. 請求項6記載の立体形状計測装置において、

前記計測手段は、静電容量、空気圧、光のうちの少なくとも一つを用いて計測することを特徴とする立体形状計測装置。

9. 請求項1記載の立体形状計測装置において、

前記計測ヘッドは、計測視野内の計測したい箇所を密に計測する計測モードを持つことを特徴とする立体形状計測装置。
20

10. 請求項9記載の立体形状計測装置において、

前記計測モードは、半導体配線の幅とエッジの曲がりを実測し、この計測情報を定量化して出力することを特徴とする立体形状計測装置。

11. 請求項1記載の立体形状計測装置において、

前記計測ヘッドによって計測した立体形状を前記試料内の位置と対応させて表示する表示手段を持つことを特徴とする立体形状計測装置。
25

12. 請求項1記載の立体形状計測装置において、

前記計測ヘッドによる計測結果を定量化して前記試料内の位置と対応させて数値あるいは表示色の少なくとも一方で表示する表示手段を持つことを特徴と

する立体形状計測装置。

13. 請求項1記載の立体形状計測装置を用いた加工装置であって、

前記立体形状計測装置をエッチング装置、塗布露光現像装置、研磨装置に搭載し、加工前、加工後、あるいは加工前後に前記立体形状計測装置によって立体形状を計測することを特徴とする加工装置。

14. 請求項13記載の加工装置を用いた半導体デバイス製造方法であって、

半導体回路パターンあるいはレジストパターンを観察し、その観察結果を前記加工装置の動作条件にフィードバック、フィードフォワード、あるいはフィードバックとフィードフォワードの両方を行うことを特徴とする半導体デバイス製造方法。

15. 請求項14記載の半導体デバイス製造方法において、

前記フィードバック、あるいは前記フィードフォワードされる条件は、エッチング条件、露光・現像条件、研磨条件のいずれか少なくとも一つであることを特徴とする半導体デバイス製造方法。

図 1

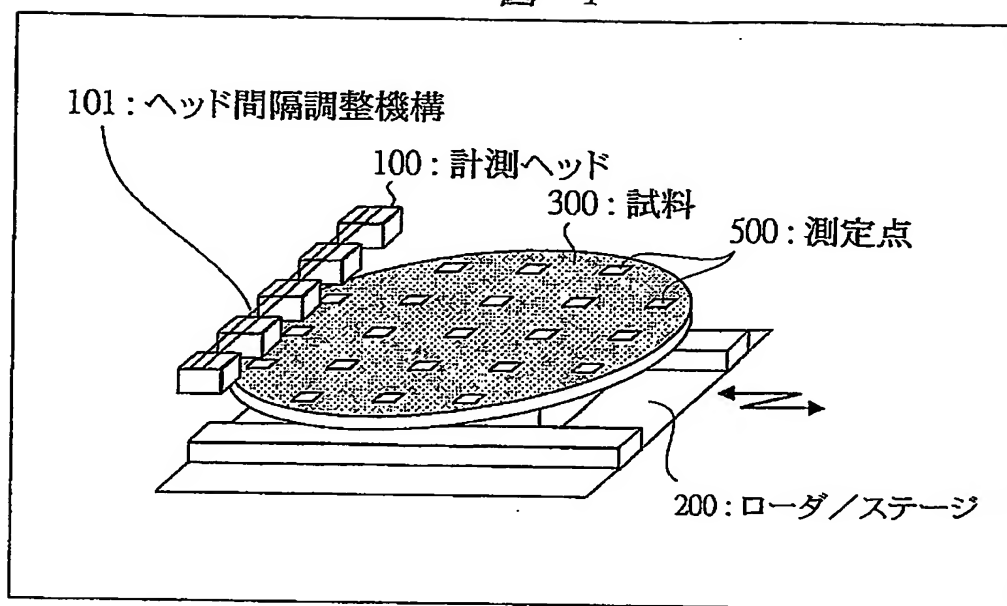
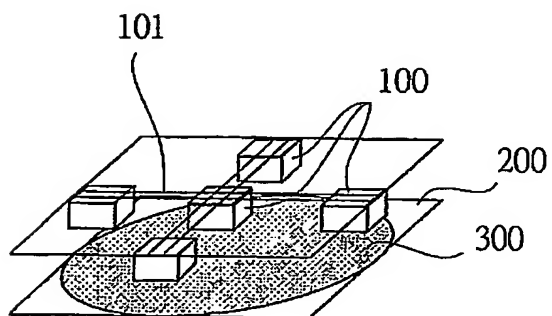


図 2



3

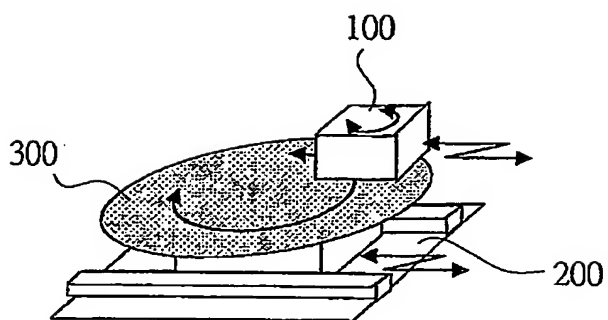


図 4

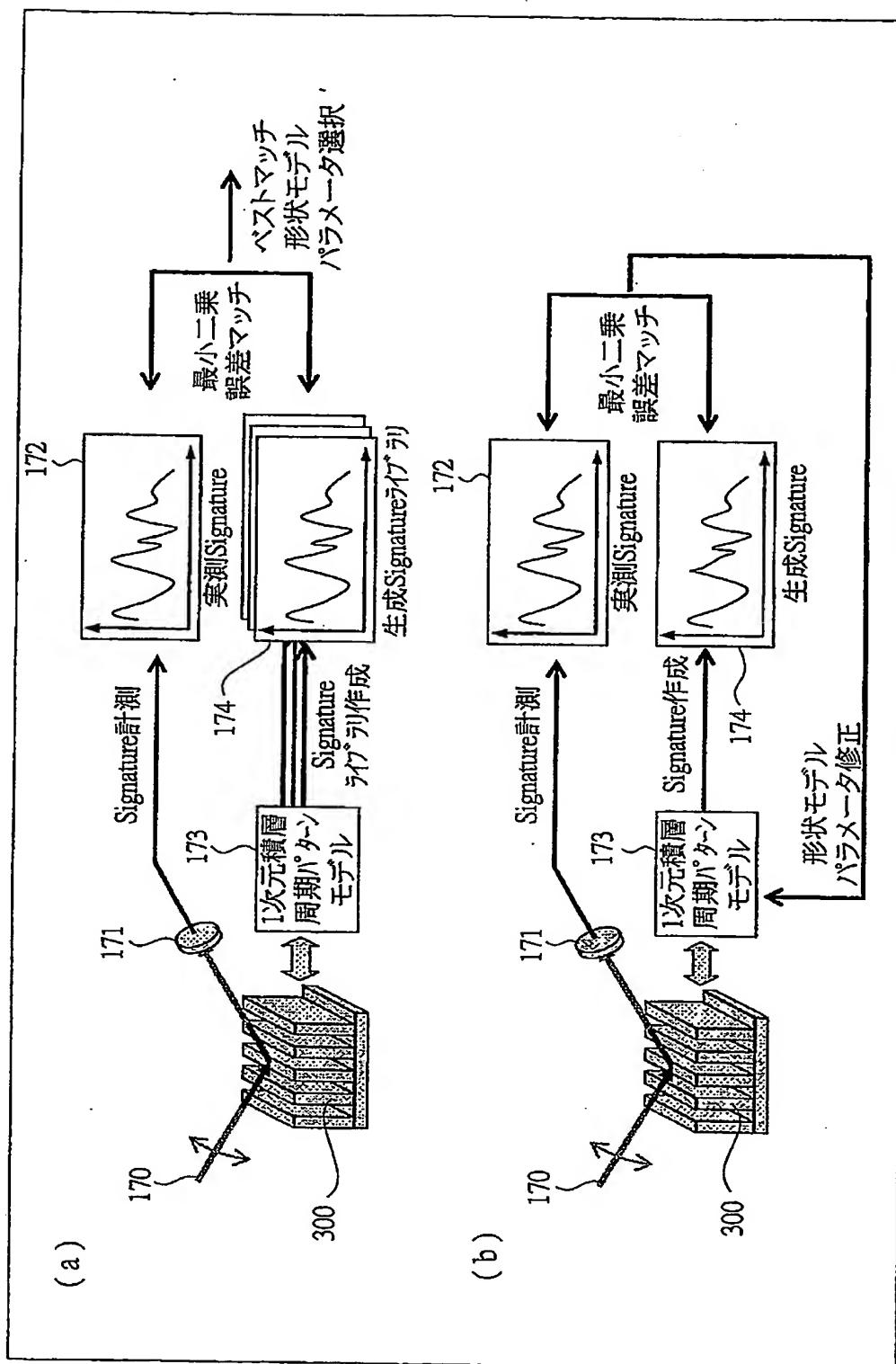


図 5

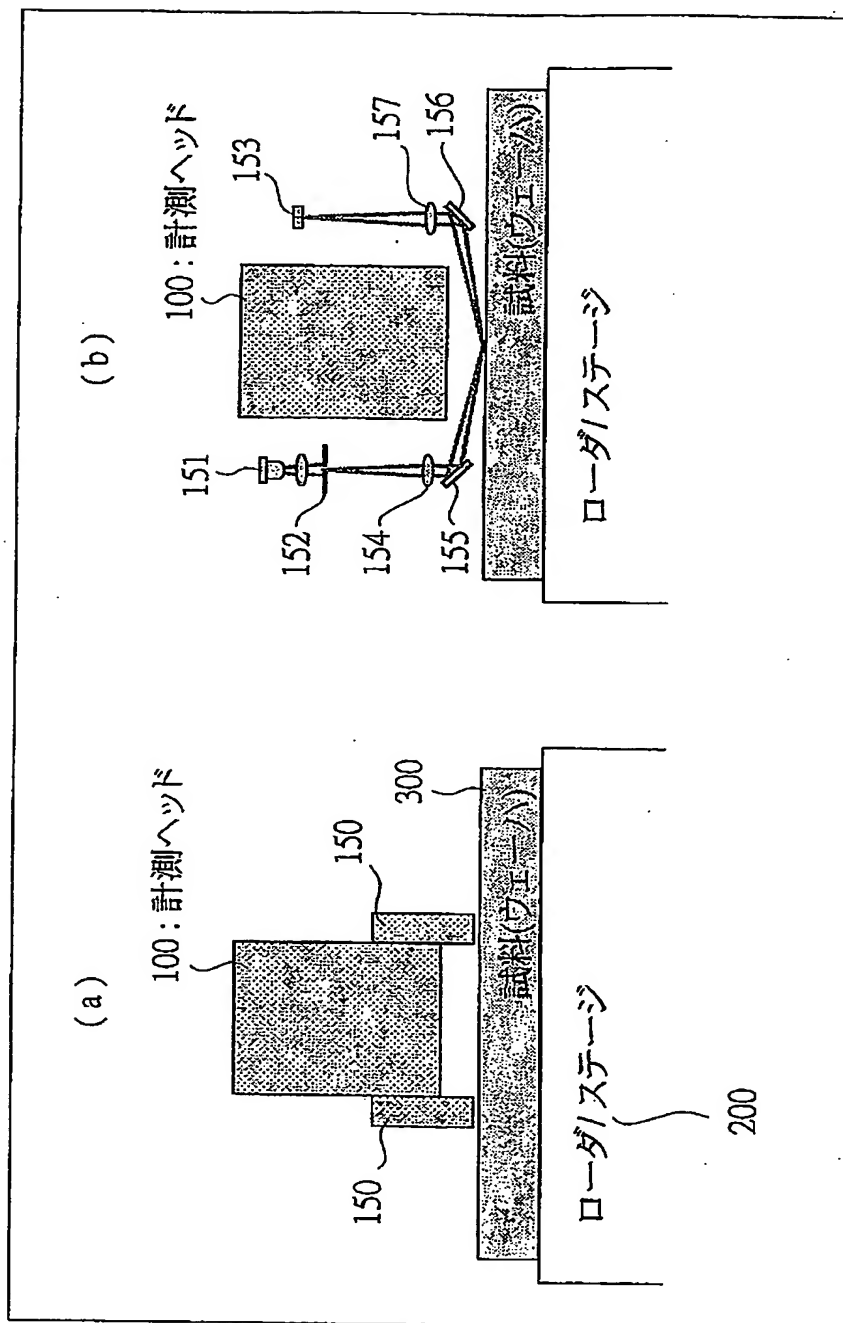


図 6

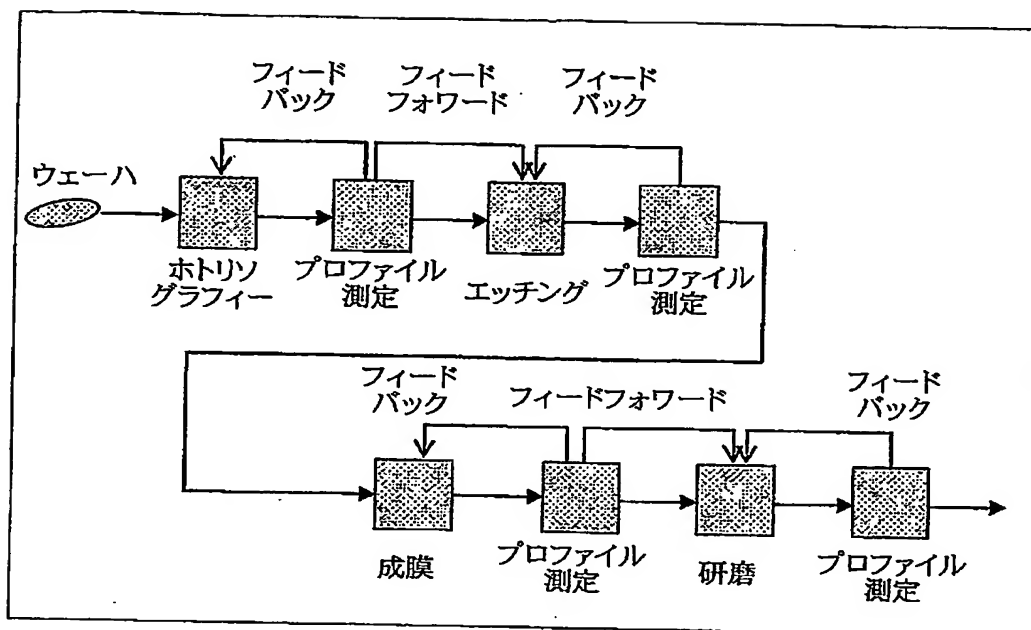


図 7

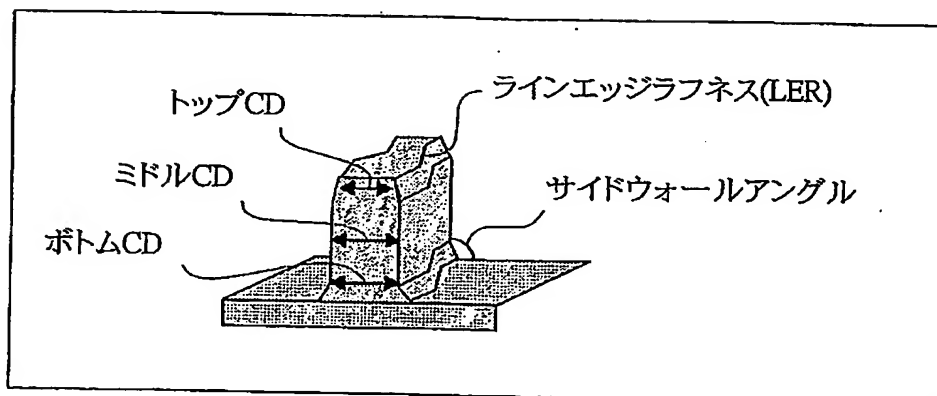


図 8

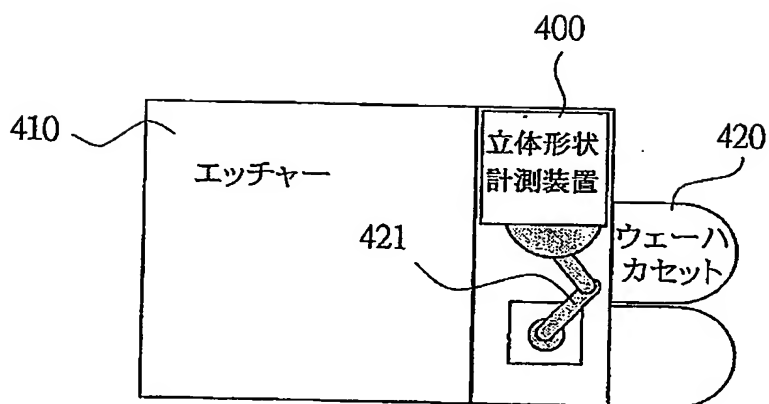


図 9

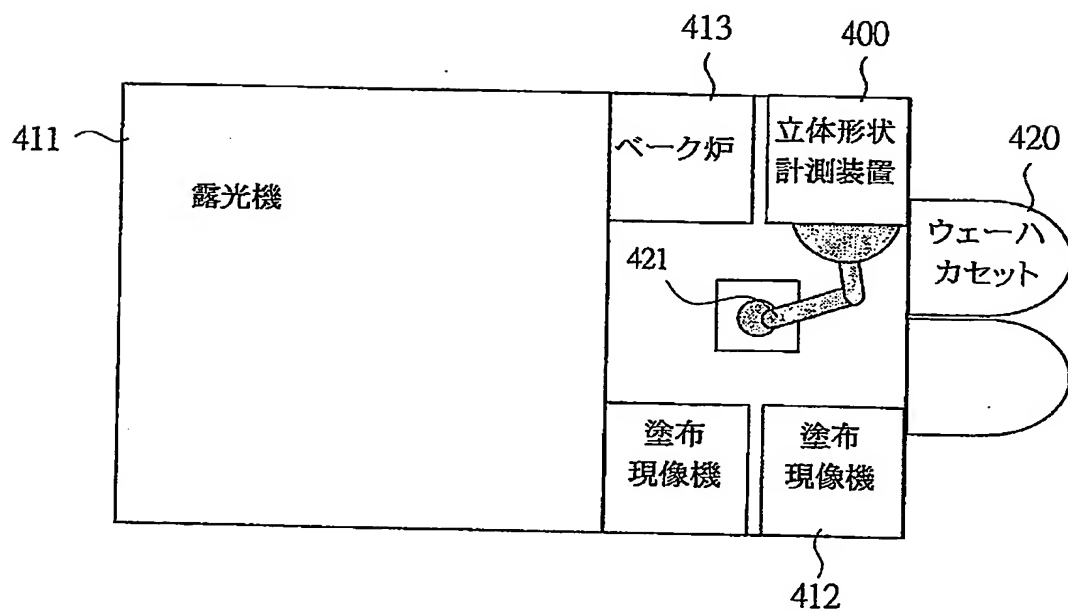


図 10

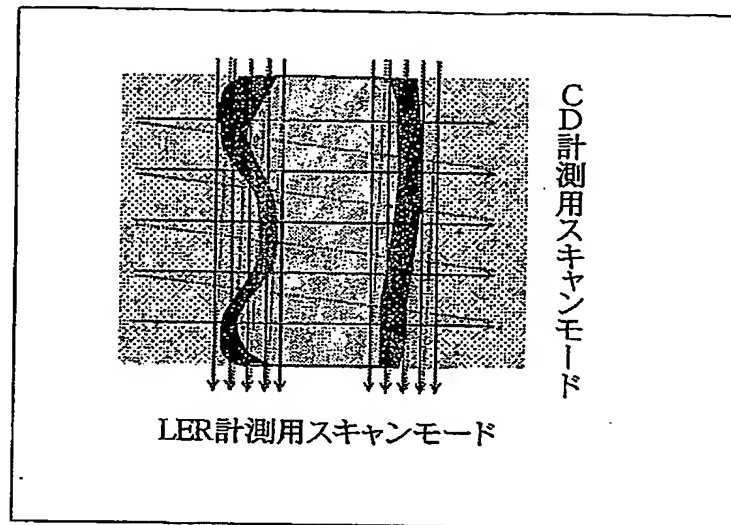
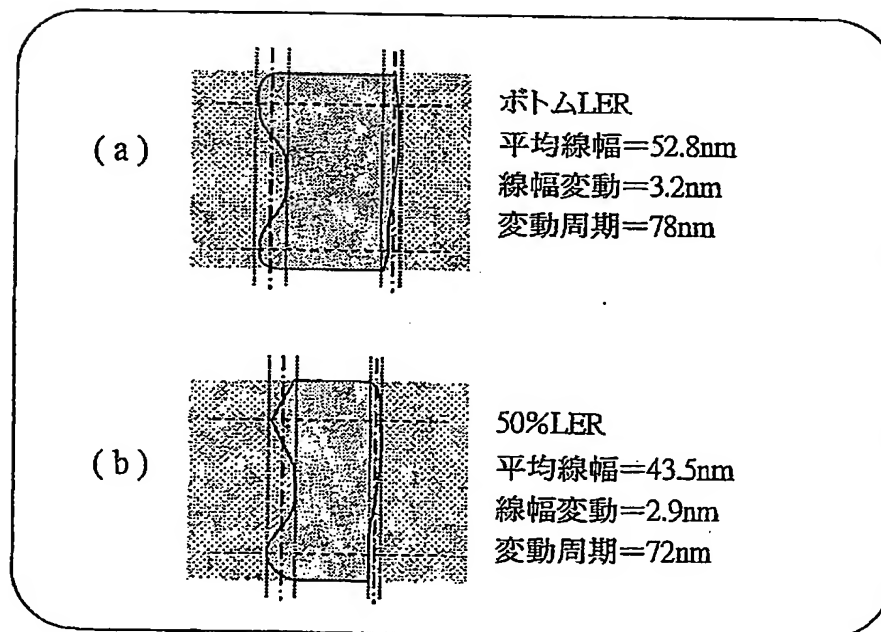


図 11



12

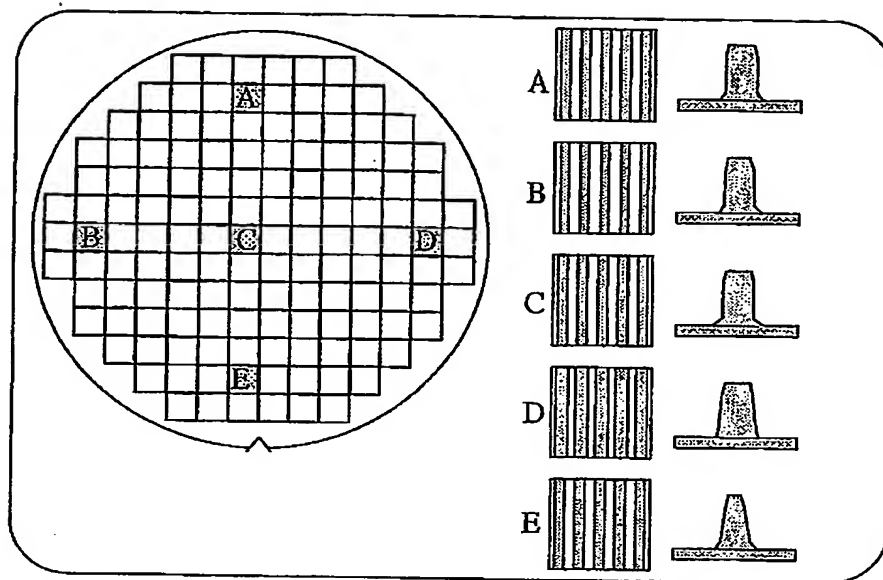


図 13

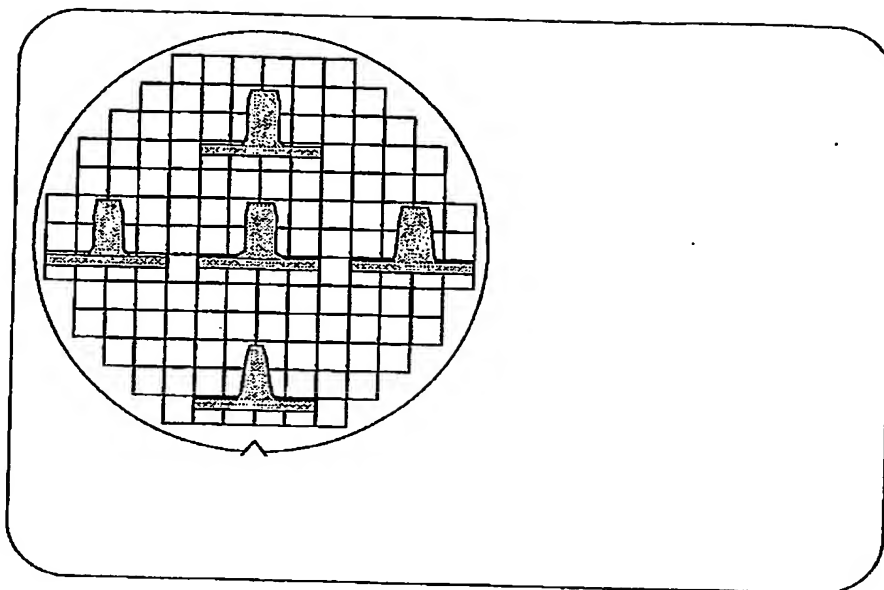


図 14

